



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1725289** **A1**

(51)  $5^1$  H 01 J 49/40

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГИИТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4722073/21

(22) 20.07.89

(46) 07.04.92. Бюл. № 13

(71) Институт ядерной физики  
АН КазССР

(72) Л.М.Назаренко, Л.М.Секунова  
и Е.М.Якушев

(53) 621.384(088.8)

(56) Int. J. Mass-Spectrom. Ion Proc.,  
1989, v.88, p.21-28.

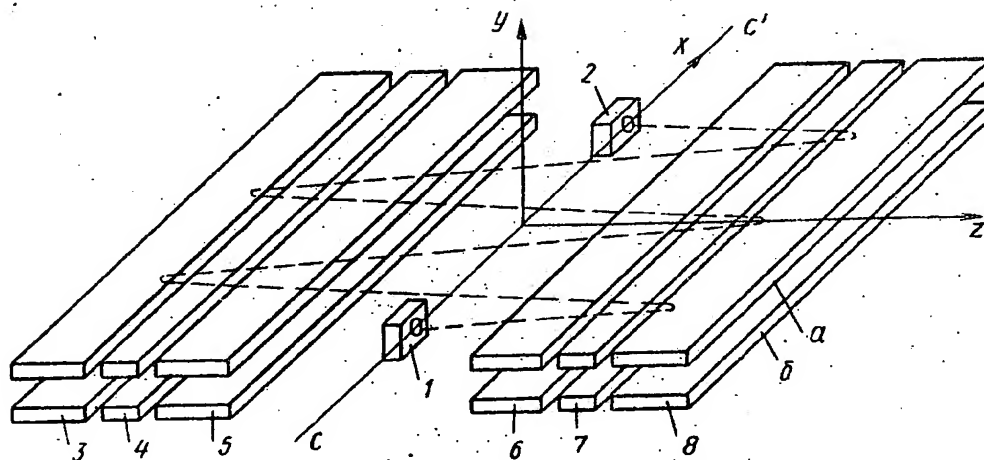
Сысоев А.А. Применение ионных  
зеркал во времяпролетном масс-спек-  
трометре МСХ-34. Приборы и техника  
эксперимента, 1973, № 5, с.174-176.

Дауменов Т.Д. и др. Ионно-опти-  
ческие характеристики времяпролетно-  
го зеркального масс-спектрометра.  
Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат.,  
1986, № 2, с.77-78.

2

(54) ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ МАСС-СПЕКТРО-  
МЕТР С МНОГОКРАТНЫМ ОТРАЖЕНИЕМ

(57) Изобретение относится к масс-  
спектрометрии. Целью изобретения  
является увеличение светосилы и по-  
вышение разрешающей способности за  
счет обеспечения пространственной  
фокусировки. Цель достигается тем,  
что в устройство введены два бес-  
сеточных электростатических зеркала,  
каждое из которых состоит из электро-  
дов 3, 4, 5 и 6, 7, 8 соответствен-  
но. Electroды зеркал выполнены в  
виде пластин, симметрично распо-  
ложенных относительно средней плоско-  
сти, а источник 1 и приемник 2 ионов  
расположены в бесполом простран-  
стве между ионными зеркалами. Зерка-  
ла обеспечивают многократное отра-  
жение ионного пакета. 1 ил.



(19) **SU** (11) **1725289** **A1**

Изобретение относится к масс-спектрометрии, физической электронике и электронной оптике.

Известны времяпролетные масс-спектрометры с многократным отражением ионного пучка, в которых в качестве отражающих элементов используются электростатические зеркала, составленные из электродов, выполненных в виде диафрагм и трубок или в виде сеток.

Зеркала обеспечивают беспрепятственное прохождение ионного пучка, одновременную пространственную фокусировку и времяпролетную фокусировку по энергии второго порядка. Каждое отражение ионного пучка осуществляется отдельным ионным зеркалом, что усложняет конструкцию прибора и накладывает определенные трудности в юстировке при реализации многократного отражения. Многократное отражение может осуществляться двумя зеркалами. Отражение ионного пучка в них производится электростатическими полями, формируемыми сеточными электродами. Проходя сквозь эти электроды, ионный пакет теряет часть интенсивности вследствие физического перекрытия пучка сетками и его рассеяния на них. Электростатические зеркала обеспечивают только времяпролетную фокусировку. С целью ввода и вывода ионов обеспечивается импульсное питание электродов ионных зеркал, что накладывает дополнительные ограничения на частоту подачи анализируемых пакетов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является времяпролетный масс-спектрометр, содержащий источник и приемник ионов и два ионных зеркала, обеспечивающих многократное отражение ионного пакета. Электроды каждого из зеркал выполнены в виде плоских, параллельных одна другой сеток, находящихся под постоянными потенциалами. Ионные зеркала расположены по обе стороны от дрейфового пространства и параллельны между собой.

Недостатком известного прибора является то, что на пути движения ионного пакета расположены сеточные электроды, которые частично перекры-

вают ионный поток из-за ограниченной прозрачности и рассеивают его вследствие наличия линзовых эффектов на ячейках сетки. Кроме того, под воздействием ионного потока сами сетки заряжаются, что приводит к возникновению неконтролируемых потенциалов, ухудшающих характеристики прибора. Сетки в процессе работы подвержены таким явлениям, как провисание, перекосы, вздутие и так далее, которые также приводят к неконтролируемому изменению электрического поля. Указанные недостатки сетчатых зеркал приводят к уменьшению разрешения и светосилы, причем при многократном отражении и с учетом того, что ионный поток проходит каждую из сеток дважды, ситуация существенно усугубляется и становится непрогнозируемой. Кроме того, отсутствует пространственная фокусировка, что определяет малую его светосилу.

В известном устройстве источник и детектор ионов расположены с двух противоположных сторон пространства, занятого ионными зеркалами и дрейфовым пространством. Такое расположение исключает возможность изменения числа отражений ионного пакета без нарушения выбранных начальных параметров ионно-оптической схемы. Это накладывает ограничения на аналитические возможности прибора, так как не позволяет в процессе работы варьировать величины разрешающей способности и светосилы в зависимости от условий аналитической задачи.

Целью изобретения является увеличение светосилы и повышение разрешающей способности путем обеспечения пространственной фокусировки времяпролетного масс-спектрометра с многократным отражением.

Во времяпролетном масс-спектрометре с многократным отражением, содержащем источник и детектор ионов и два ионных зеркала, состоящих из электродов, соединенных с источниками постоянного напряжения, каждый из электродов ионных зеркал выполнен в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней плоскости, причем источник и приемник ионов распо-

ложены в свободном от поля пространстве между ионными зеркалами.

Указанные зеркала создают свободный для прохождения ионов ионно-оптический тракт. При этом полностью устраняются такие характерные для точных зеркал потери разрешения и чувствительности, которые связаны с перекрытием пучка, а также с возникновением неконтролируемых зарядов. При этом при определенных соотношениях потенциалов на электродах таких зеркал наряду с времяпролетной можно обеспечить и пространственную фокусировку ионов на детектор, что устраняет указанный недостаток известного устройства и приводит к повышению по сравнению с известным разрешающей способности и светосилы во времяпролетном масс-спектрометре с многократным отражением.

Расположение источника и детектора ионов в бесполом пространстве между зеркалами обеспечивает возможность изменения числа отражений без нарушения выбранных начальных параметров ионно-оптической схемы и качества пространственно-временной фокусировки из-за возможности обеспечения пространственно-временной фокусировки при каждом отражении (многократная фокусировка), что расширяет аналитические возможности прибора, так как позволяет в процессе работы простым перемещением источника или детектора ионов варьировать величины разрешающей способности и светосилы в зависимости от условий аналитической задачи.

Времяпролетный масс-спектрометр с многократным отражением отличается тем, что каждый из электродов ионных зеркал выполнены в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней плоскости, причем источник и детектор ионов расположены в свободном от поля пространстве между ионными зеркалами.

Известно использование для однократного отражения во времяпролетном масс-спектрометре одного ионного зеркала, составленного из электродов, выполненных в виде пары пластин, симметрично расположенных относительно средней плоскости, которое

обеспечивает в плоскости детектора ионов как пространственную, так и времяпролетную фокусировку. Однако в предлагаемом устройстве два подобных зеркала используются для многократного отражения ионных пакетов во времяпролетном масс-спектрометре, причем электроды того и другого зеркала определенным образом ориентированы один относительно другого - они имеют общую плоскость симметрии. Вследствие указанного появляется новое свойство, приводящее к увеличению разрешающей способности времяпролетного масс-спектрометра (специфическое расположение электродов обоих зеркал).

На чертеже представлена аналитическая часть времяпролетного масс-спектрометра с многократным отражением, общий вид.

Масс-спектрометр содержит источник 1 ионов, приемник 2 ионов, два идентичных ионных зеркала, каждое из которых состоит из электродов 3-5 и 6-8 соответственно. Каждый электрод состоит из двух пластин  $\alpha$  и  $\beta$ , параллельных между собой, находящихся под одинаковым потенциалом и расположенных симметрично относительно общей для обоих зеркал средней плоскости  $xz$ , в которой находятся центры выходного и входного окон источника и приемника ионов. Пунктирной линией показана траектория движения ионного пакета при многократном отражении. Центры входного и выходного окон источника и приемника ионов находятся на линии  $CC'$  пересечения взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии ионных зеркал (плоскости  $xz$  и  $xy$ ).

Масс-спектрометр работает следующим образом.

Ионный пакет, вылетевший из источника ионов по направлению к одному из зеркал, отражается в нем и попадает в другое зеркало, отразившись в котором, снова попадает в поле первого зеркала и т.д. В процессе дрейфа ионный пакет расслаивается по массам и, отразившись многократно в поле ионных зеркал, попадает в приемное окно детектора. При этом дисперсия прибора равна

$$D = k m \frac{\partial T}{\partial m},$$

где  $T$  - время прохождения ионами участка пути, ограниченно-го плоскостью  $xy$ ;

$m$  - масса иона;

$k$  - число отражений в ионных зеркалах.

Положение источника и приемника ионов выбрано так, что плоскость  $xy$ , в которой лежат центры входного и выходного окон источника и приемника, совпадает с главной плоскостью времяпролетной фокусировки, в которой  $\frac{\partial T}{\partial \varepsilon} = 0$ , причем специальным вы-

бором геометрических и электрических параметров ионных зеркал здесь же обеспечивается одновременно времяпролетная фокусировка по энергии второго порядка  $\frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2} = 0$  и пространственная фокусировка  $\frac{\partial y}{\partial \beta} = 0$

ионного пучка в направлении, перпендикулярном к средней плоскости  $xz$ , где  $\varepsilon$  - начальный разброс энергий в пакете относительно средней энергии;  $\beta$  - начальный угол расходимости ионного пакета в плоскости  $yz$ .

При этом разрешающая способность равна

$$R = k \frac{T}{d(\Delta t + k \Delta t^{(3)})},$$

где  $\Delta t$  - начальная длительность импульса;

$\Delta t^{(3)}$  - времяпролетная абберация третьего порядка малости по энергии при однократном отражении.

Величина  $R$  увеличивается с ростом числа отражений до тех пор, пока величина  $k \Delta t^{(3)}$  мала по сравнению с  $\Delta t$ .

Перемещение источника или детектора ионов в направлении оси  $x$  позволяет использовать масс-спектрометр с различным числом отражений при сохранении выбранных начальных параметров его ионно-оптической схемы, причем качество пространственно-временной фокусировки не нарушается. Этим обеспечивается работа при повышенных разрешениях или светосиле в зависимо-

сти от условий поставленной аналитической задачи, т.е. расширяются аналитические возможности прибора.

Параметры ионно-оптической схемы, при которых реализуется пространственно-временная фокусировка, находятся решением уравнений движения с учетом распределения потенциала в средней плоскости ионных зеркал

$$V(z) = V_3 + \frac{2}{\pi} (V_3 - V_4) \arctg e^{\frac{\pi}{d}(z-z_{34})} +$$

$$+ \frac{2}{\pi} (V_5 - V_4) \arctg e^{\frac{\pi}{d}(z-z_{45})}$$

и наложения условий

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \varepsilon}\right)_{\varepsilon=0} = 0, \quad \left(\frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2}\right)_{\varepsilon=0} = 0,$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial \beta}\right)_{\beta=0} = 0, \quad z_{\text{ист}} = z_{\text{дет}},$$

где  $V_3, V_4, V_5$  (или соответственно

$V_8, V_7, V_6$ ) - потенциалы на электродах 3-5 (или 6-8);

$d$  - расстояние между пластинами каждого электрода;

$z_{34}$  и  $z_{45}$  (или  $z_{78}$  и  $z_{67}$ ) -

координаты середины межэлектродных щелей;

$t$  - время пролета ионов с произвольной энергией участка пути, ограниченного плоскостью  $xy$ ;

$z_{\text{ист}}$  и  $z_{\text{дет}}$  - координаты выходного и входного окон источника и приемника ионов.

Например, прибор содержит трехэлектродное зеркало со следующими параметрами: размер электродов 3 и 5 (6 и 8) в направлении оси  $z$  не менее  $3d$ , размер электрода 4 (7) -  $0,83d$ , расстояние от плоскости  $xy$  до параллельной ей плоскости, проходящей через центр щели между электродами 3 и 4 (7 и 8), равно  $5,67d$ . Зазор между электродами составляет  $0,1d$ .

Значения потенциалов на электродах, выраженные в относительных единицах, равны

$$\frac{V_3}{V_0} = \frac{V_8}{V_0} = -0,546; \quad \frac{V_4}{V_0} = \frac{V_7}{V_0} = 0,$$

$$\frac{V_2}{V_6} = \frac{V_5}{V_0} = 1,$$

где  $eV_0$  - средняя энергия ионов в пакете;

$e$  - заряд иона.

Выбор размера электродов в направлении оси  $x$  зависит от максималь-15 но задаваемого числа отражений и угла наклона траектории ионов к оси  $z$  в момент вылета их из источника в проекции на среднюю плоскость. В конкретном приборе при пятикратном отражении и угле падения  $\approx 3^\circ$  этот размер равен 8,5d.

Предлагаемый масс-спектрометр не- сложен в исполнении, его детали и узлы технологичны. В нем осуществля-25 ется двойная фокусировка ионного пучка: по времени пролета (с точно- стью до аббераций второго порядка малости) и пространственная фокуси- ровка в одном направлении. При этом

по сравнению с известным вследствие отсутствия сеток на пути движения ионного пакета и наличия простран- ственной фокусировки светосила при- бора увеличивается в 10-20 раз. Од- новременно расширяются аналитические возможности прибора.

# 10 Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Времяпролетный масс-спектрометр с многократным отражением, содержа- щий источник и детектор ионов и два ионных зеркала, состоящих из элект- родов, соединенных с источником по- стоянного напряжения, о т л и ч а - ю щ и й с я тем, что, с целью уве- личения светосилы и повышения раз- решающей способности путем обеспе- чения пространственной фокусировки, каждый из электродов ионных зеркал выполнен в виде пары пластин, сим- метрично расположенных относительно общей для обоих зеркал средней пло- скости, причем источник и приемник ионов расположены в свободном от поля пространстве между ионными зер-30 ками.

Составитель Л. Секунова

Редактор И. Шулла

Техред М. Дидык

Корректор М. Самборская

Заказ 1180

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101